

應用航海雷達遙測海洋鋒面之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2611 - M - 002 - 005

執行期間： 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：王 胄

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學海洋研究所

中 華 民 國 93 年 10 月 27 日

應用航海雷達遙測海洋鋒面之研究

92-2611-M-002-005

摘要

雷達是近代一種重要的遙測工具，雷達發射出的電磁波在接觸到海面粗糙構造後會發生後向散射，其強度與海面粗糙物之分佈性質有關，因此可以根據雷達回波訊號強度來反算一些會影響到海面粗糙物之分佈性質的外在物理因子(如波浪、風力、雨滴、水流分佈等等)的特性。在河口海域，河川流出之沖淡水與外海高鹽份海水相遇時會形成明顯的舌狀構造，沖淡水舌之外緣為水流輻合帶(鋒面)，在輻合帶中海面小波受到波流交互作用其能量密度將會增大，因此我們可預期沿著水舌外緣將會形成一道海面粗糙度較高的區域，是以從雷達回波上便能夠界定出沖淡水舌的位置所在。本年度我們在淡水沙崙港邊裝設了岸置雷達以監看淡水河沖淡水舌之變化情形，資料顯示在開始退潮時，呈舌狀構造的強輻合區會先在沙崙港外形成，隨後此舌狀構造範圍逐漸擴大，並向著西南方之台北港外堤方向擴展，但其強度則漸減弱，然後慢慢消失。淡水河流量大時，舌狀區向外海擴張較遠，反之則比較侷限於河口近岸，這些趨勢和水文觀測資料相合。

ABSTRACT

Radar is an important tool for remote sensing. The strength of back-scattering, generated by Radar waves hitting sea surface roughness elements, i.e. small waves, is associated closely with the distribution of surface roughness elements and with the strength of the latter as well. Therefore, external parameters, such as waves, winds, raindrops and flow structures, etc. whose properties can excite small waves thus could be deduced inversely from the back-scattering signals of Radar. A tongue-like river plume is a typical pattern usually observed at an estuarine region where the brackish effluents from the river meet the offshore saltier waters. The outer rim of a river plume is a convergence zone, where small waves become energetic causing by the wave-current interaction mechanism. Therefore, we anticipate that the outer rim of a river plume is a zone with high sea surface roughness, which could be detected from the Radar imageries readily. This year, we have set up a land-based Radar station at Sar-Luen, Tanshui. We expect to get more insights on the response of Radar imageries to the behavior of flow fields, and we may extend and utilize these understandings to study the internal solitons in the South China Sea area, by virtue of these measurements. Field observations at Sar-Luen do show significant patterns of the movement of the tongue-like river plume which is associated with the semi-diurnal tidal cycle closely. The plume pattern shown by Radar measurements is consistent with the field CTD surveys well.

前言、

雷達是近代一種重要的主動式遙測裝備,更是未來海洋學研究上一個充滿發展潛力的量測工具,目前各國均在大力發展相關技術,除了將雷達廣泛應用於衛星遙測以探測地球資源、氣候變化甚至使用在軍事用途外,近年亦重新致力將傳統雷達性能提升作為遙測工具,例如歐美(美國、英國、德國、挪威等)等國以及大陸地區均在開發各式各樣的雷達測波系統以及發展相關的探測技術。相對而言,國內在此方面之發展尚較落後,過去僅有台大海洋所致力於以航海雷達為基礎的相關研發工作,並自行開發出了 ROCOS 雷達測波儀系統。ROCOS 系統係使用近代電子技術將尋常之航海雷達升級為高解析度數位雷達,雷達回波信號經由 10 MHz 之 12 Bits A/D 取樣後轉換為數位資料,然後傳送給個人電腦處理圖像並估算擊波高與波向等參數,同時尚可儲存雷達原始數據以提供事後進一步分析之用。近年海洋觀測規模越來越大,研究人員常使用同步之衛星遙測資料作為觀測時之背景海況佐証參考,或作為現場機動調整測站配置之依據,如此對事後分析、解釋觀測資料或是追蹤海洋特別構造或變化甚有幫助。然而同步之衛星遙測資料往往可遇不可得,或是價格十分昂貴,因此使用船上自有之航海雷達作為近域遙測之用便具有很大的效益。在本年度計畫內,我們承襲了以往開發 ROCOS 系統之成果與經驗,將該系統功能重作調整亞轉往海洋遙測方面發展,由於研究船航次申請不易,甚難得到足夠時間以執行海上量測,因此在測試系統以及累積遙測經驗時期大可利用近岸測站來進行相關實驗工作。本年度內我們即在淡水河口沙崙港邊設置了雷達觀測站,定時監測淡水河口沖淡水舌之變化情形,藉助淡水河口附近沿岸鋒之變化情形以探討使用航海雷達作為近域遙測之可行性。

研究目的、文獻探討

雷達發射出的電磁波在接觸到海面粗糙構造(小波)後會產生後向散射,其強度與海面粗糙構造之分佈性質有關,而這些粗糙構造之分佈特性主要又會受到風、雨以及波、流交互作用等外在物理因子所調變,因此根據雷達回波訊號強度便可反算出這些外在物理因子的特性。我們從雷達掃描海面的圖像往往能夠辨認出一些水平尺度比較大的物理海洋學現象,例如海洋內波、近岸鋒、河流出口處之沖淡水舌(river plume)分佈、海面油污、船隻尾跡等等,這是因為這些現象中有些(如內波、鋒面等)往往會造成海面流場發生水流輻散或輻合,經由小波與流場的交互作用就會改變海面粗糙度的分佈情形,有些現象(如油污或船隻尾跡亂流等)則會抑止小波發展,使得海面變得比較平滑。但當風強浪大時,波浪所產生的雷達回訊強度往往又會比想看的海洋現象要強得太多,此時若將雷達連續觀測畫面平均後往往便能將有意義的海洋現象特別凸顯出來。

近年來我們為了即將再度開展之南海內波研究工作,正不斷開發或引進新的觀測工具以及技術,使用船舶雷達遙測研究船附近水域海洋內波場便是其中重要的一環,主要根據的原理為:由於水下內波會產生海面水流之輻合或輻散,經由波流交互作用後便會影響到海面重力波能量密度的水平分佈情形。對雷達遙測而言,海面小波是造成雷達波後向散射效應最重要的散射體,其分佈情形和海面風應力之大小以及海面大波(其能量大小分佈情形則會受到內波所造成之水流輻合或輻散作用所影響)所引起之水分子運動分佈情形有密切關係,是以從雷達圖像上就可以觀察到水下內波。在水下內波波峰(對下壓型內波而言,

此即等密面深度最大之處)前緣處，海面水流係呈現水平輻合，故水面重力波在此處之能量密度較大，亦即海面比較粗糙，反之在水下內波之背面(即內波波峰與下一波波谷間)，海面水流係呈現水平輻散，因而海面重力波之能量密度較小，海面則相對較為平滑，透過這些關係就可將雷達回訊強度與水下內波運動情形連結起來。

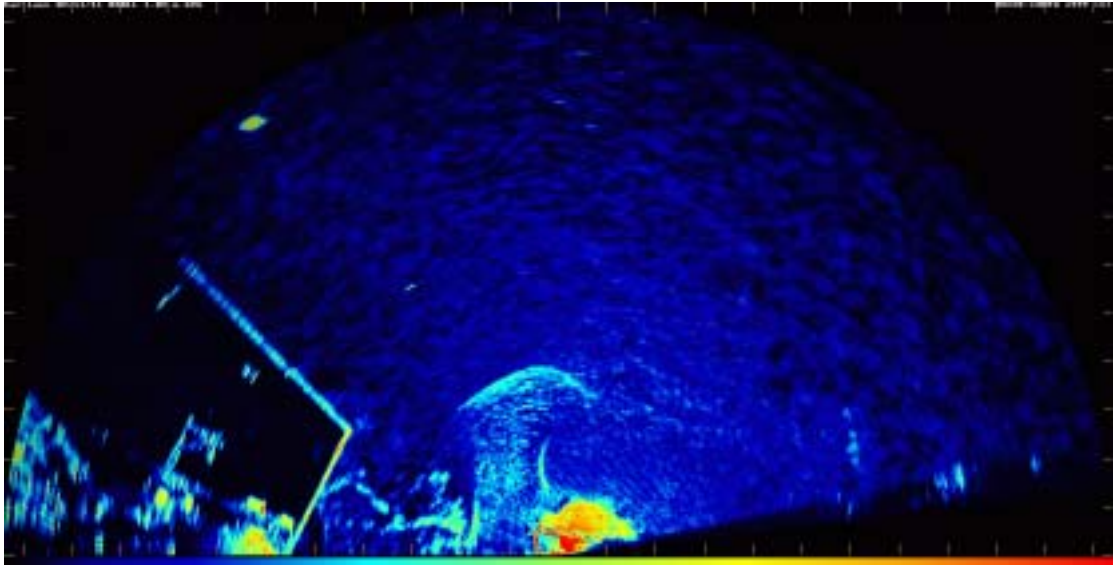
Alpers (1985)曾指出雷達是海面粗糙度的感應器，與水流之關係可以用簡化的公式來近似。雷達回訊強度通常是用雷達截面積率(Normalized Radar Cross Section，簡稱為 NRCS) σ 來表示，假如海面水平流速 \vec{u} 所造成之輻散為 $\nabla_H \cdot \vec{u}$ ，式中 ∇_H 為水平梯度運算，則根據第一階近似之雷達成像原理，海面上 NRCS 之相對變化($\Delta\sigma/\sigma_o$)和水平流速輻合量間會呈正比，即

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma_o} = -A\nabla_H \cdot \vec{u},$$

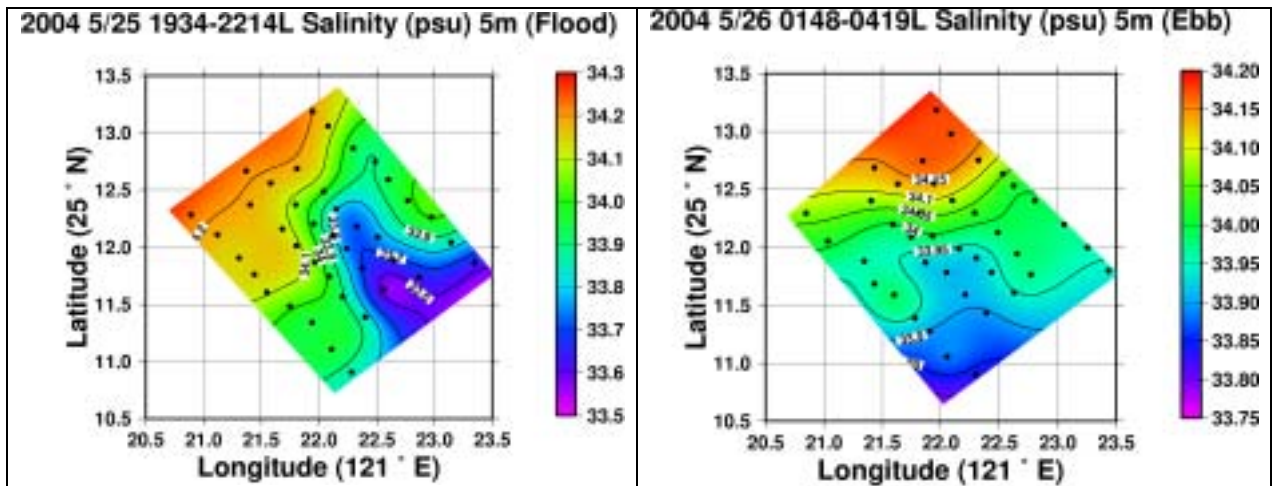
式中 A 為一呈正值的函數，其數值大小和雷達波長、雷達發射之掠角、方位角、以及海面風速等等因素均有關， σ_o 則為具一代表性的海面 NRCS 值(Brandt et al.1996)。海下內波會造成海面水平流速之輻合或輻散，後者經由波浪交互作用則又和海面波場特性間有密切的關係，是以從雷達回訊強度應可有效反算出水下內波場在海面上所產生流速之振幅大小，如果又獲有同時之海水密度垂直剖面分佈資料(使用 XBT 或是 CTD)，那麼根據內波理論就可再進一步算出水下內波之垂直構造、振幅大小、傳播速度、流速振幅等等特性參數。由於海研一號航次申請不易，本年度內我們尚無法收集到遠洋海域之內波同步觀測資料以進行分析作業(明年度計畫即會執行海上觀測)，因此改以在淡水河口建立長期之雷達遙測站，藉助淡水河口沖淡水舌與外海水間鋒面帶的水流輻合情形幫助我們來發展系統。

研究方法、結果與討論

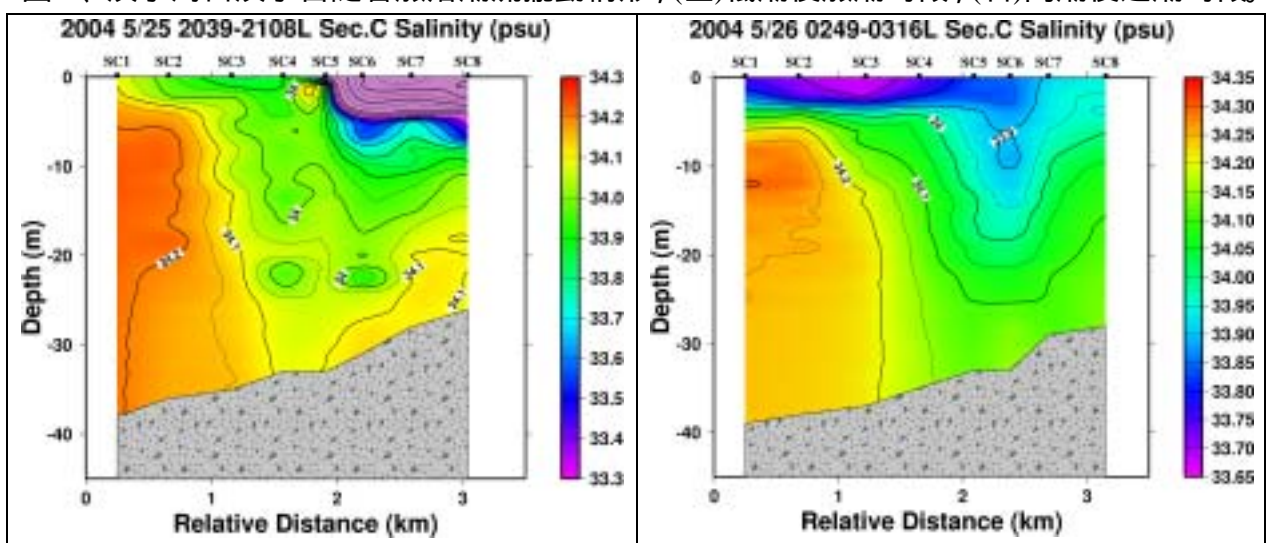
本年度計畫執行期間，我們接洽了海巡署並按照預定進度將自行製作之船舶雷達遙測儀安裝在淡水河口沙崙漁港邊的安檢站樓頂，藉以觀測淡水河口河川沖淡水舌之變化情形(圖一)。在此期間內我們亦藉助一些建教計畫之便，搭乘漁船在淡水河口水域進行了數次小範圍之 CTD 調查，從這些 CTD 調查結果可看出淡水舌在淡水河口外隨著漲落潮流擺動的情形，例如圖二即為 2004 年 5 月 25 日之量測結果，顯示淡水舌在低潮時離岸較遠(淡水河口在圖右下方遠處)(左圖所示)，高潮時低鹽份沖淡水則被限制在近岸水域(右圖)，比較同一測線斷面上等鹽度線之移動情形(如圖三)，看出高低潮間斷面上等鹽度線在垂直海岸方向上之移動幅度約在 1.2 km 左右。根據這些資料間相互比對，可以幫助我們了解雷達遙測的可行性以及觀測系統的穩定度，同時也要藉此來發展雷達資料後處理所需要的工具程式。另方面我們也將藉助淡水河口數值模式模擬的結果以研判水流輻合區的位置以及其變化之行為，如此即可探討雷達回跡強度與水流輻合量間關係。



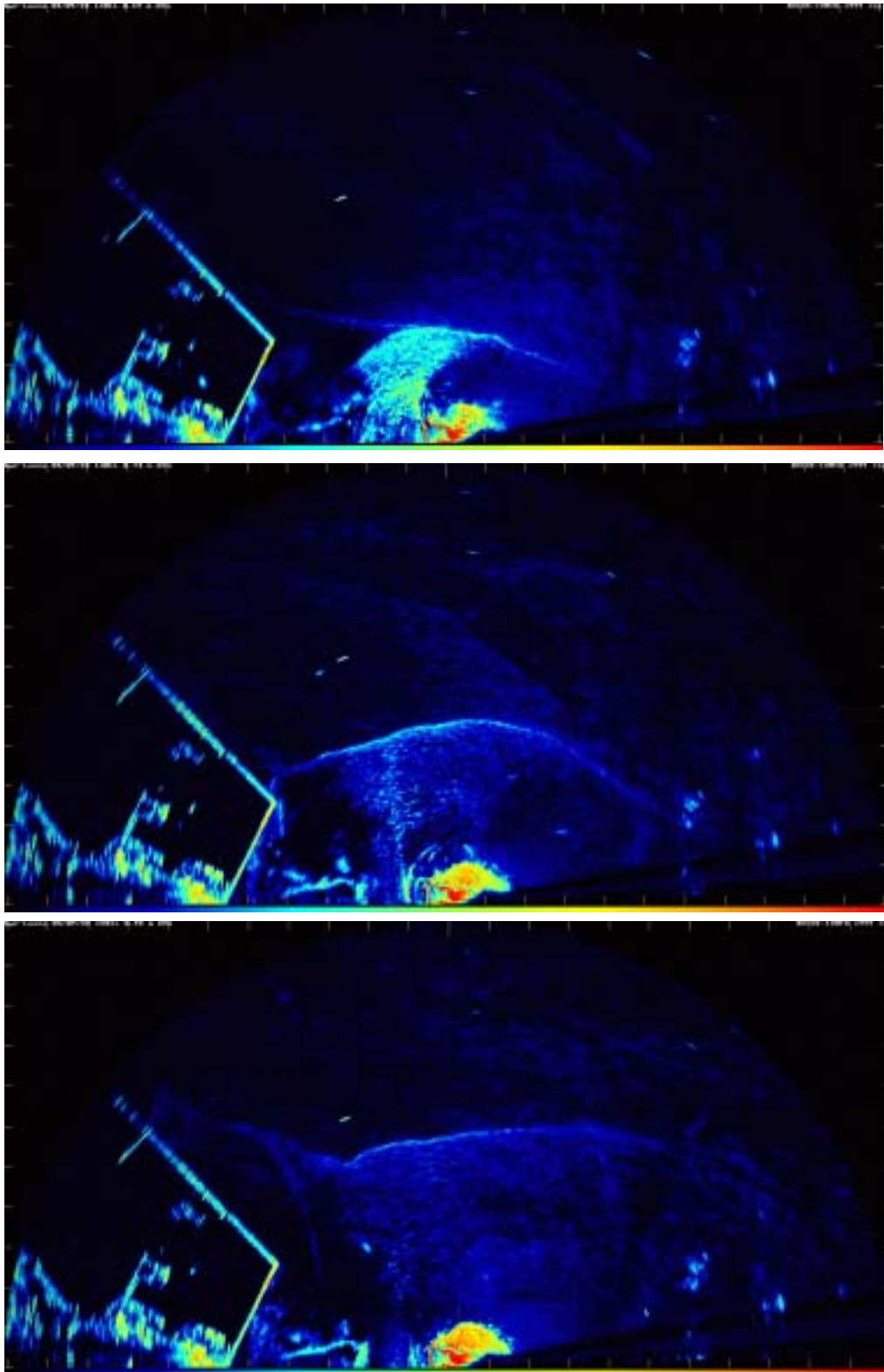
圖一、雷達遙測儀安裝在淡水沙崙港所觀測到淡水河口沖淡水所形成之舌狀構造分佈情形(此為已消除海面波浪效應後之平均圖)。



圖二、淡水河口淡水舌隨著漲落潮流擺動情形，(左)低潮後漲潮時段，(右)高潮後退潮時段。



圖三、上圖中央測線斷面鹽度分佈情形，(左)低潮後漲潮時段，(右)高潮後退潮時段，以 34.2 psu 等鹽度線為例可看出在垂直海岸方向上之移動幅度約在 1.2 km 左右。



圖四、淡水河口沖淡水舌在最低潮後逐時之變化情形，(上)2004年9/28 13:00L，(中)9/28 14:00L，(下)9/28 15:00L。

目前我們已將本計畫執行期間一些關於系統發展以及觀測作業的經驗撰寫了一篇會議

論文，發表於中央氣象局舉辦之「台灣海域作業化波流觀測技術研討會」（王等，2004）。其他進一步分析結果仍在處理中。

以傳統方法(例如 CTD 船測)量測河口域沖淡水舌或是沿岸鋒等之變動情形均是相當費時費力的事情，然而使用遙測工具卻可以很輕易地觀察到全面性的分佈狀況。圖四即為淡水河口沖淡水舌在最低潮(圖四-上)後逐時之變化，圖中顏色最明亮的區域即為水流輻合最強的区域(鋒面)，這個區域會隨著退潮流逐漸向外海移動(圖四-中、下)，也就是說沖淡水在海面盤據的面積會逐漸擴大，因此沖淡水層之厚度將會變薄，這也暗示在較深層次內將呈鹽楔狀的環流狀況。這些推估和以往的海流、水文觀測結果(例如王與陳 1996)以及一些尚未發表的淡水河口數值模式模擬結果頗為相合。

經由現場長期的觀測後，証實雷達確實可用來遙測淡水河口沖淡水舌之變動情形，因此可以合理預期同樣的工具與方法也可用於對深海內波孤立波之研究方面，這些工具將在下年度之南海實驗中配合拖曳式 CTD 以及 EK500 聲學測量一併執行。

參考文獻

Alpers, W. (1985) Theory of radar imaging of internal waves. *Nature*, 314, 245-247.

Brandt, P., W. Alpers and J.O. Backhaus (1996) Study of the generation and propagation of internal waves in the Strait of Gibraltar using a numerical model and synthetic aperture radar images of the European ERS1 satellite. *J. Geophys. Res.*, 101, C6, 14237-14252

Phillips, O.M. (1977) *The Dynamics of the Upper Ocean*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

王胄、陳慶生 (1996) 八里污水處理場暨海洋放流管等工程施工期間環境品質監測計畫，85 年度海象調查工作計畫報告書，中興工程顧問社。

王胄、張宏毅、邱永芳、洪憲忠 (2004) 船舶雷達遙測系統開發經驗談，「台灣海域作業化波流觀測技術研討會」論文集，交通部中央氣象局海象測報中心，93 年 10 月 29 日。